Estimación de las constantes de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en Baja California, México

Quetzalli Aguilar-Virgen, Sara Ojeda-Benítez, Paul Taboada-González, Margarito Quintero-Nuñez, Carolina Armijo-de Vega
qaguilarv@gmail.coma

Resumen

La estimación de las emisiones de biogás en sitios de disposición final de residuos sólidos, con fines de extracción y utilización como fuente renovable de energía y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, ha sido analizada por diversos investigadores. El objetivo de esta investigación fue determinar en cuatro comunidades (dos urbanas, Mexicali y Ensenada; y dos rurales, San Quintín y Vicente Guerrero) de Baja California, México, el índice de generación de metano (*k*) y el potencial de generación de metano (L_0) para proyectar con mayor precisión la generación de biogás. Se realizaron estudios de caracterización de residuos durante un año, se utilizaron como base algunas constantes del Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0, y se siguieron los lineamientos del Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC). Los resultados muestran que el 64% de los residuos generados son orgánicos, lo cual influye en el valor de los parámetros *k* y L_0. Los valores de los parámetros promedio obtenidos en los cuatro sitios de estudio son similares a los rangos establecidos por la IPCC y el World Bank Group (*k* = 0.0404 por año y L_0 = 73.645 m^3/Mg de residuo). En algunos modelos los parámetros *k* y L_0 ya están preestablecidos, sin embargo, se sabe que la determinación de estos parámetros *in situ* otorga una mayor certidumbre a la estimación de la generación de biogás.

Palabras Clave: *energías renovables, generación de energía, metano, residuos sólidos urbanos, vertederos*

1. Introducción

La estimación de las emisiones de biogás en los sitios de disposición final (SDF) ha sido fuertemente analizada por diversos investigadores en todo el mundo, principalmente para conocer su potencial como fuente renovable de energía y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Como resultado se han generado diversos modelos para predecir la generación de biogás y, aunque algunos de ellos proveen automáticamente valores para *k* y L_0 [1], se considera que la determinación de dichos valores *in situ* proporciona una menor incertidumbre en las proyecciones. Por ello, el objetivo de esta investigación fue determinar estos dos parámetros fundamentales (*k* y L_0) para calcular el potencial de generación de biogás en los SDF en dos comunidades urbanas (Mexicali y Ensenada) y dos comunidades rurales (San Quintín y Vicente Guerrero) de Baja California, México.

Mexicali (MXL), capital política del estado de Baja California, y cabecera municipal del mismo nombre, se ubica al noroeste de la República Mexicana en la latitud norte del paralelo 32°39’ y en la longitud oeste del meridiano 115°28’. Presenta un clima cálido-seco con muy poca precipitación anual. Alcanza temperaturas desde -5°C en el invierno hasta 50°C a la sombra en el verano. La ciudad de Ensenada (ENS) es la cabecera municipal del municipio del mismo nombre y se localiza en los 31°52’ de latitud norte y los 116°36’ de longitud oeste. La precipitación promedio anual histórica es de 250 mm, con un clima mediterráneo, temperatura templada la mayor parte del tiempo y lluvias principalmente en invierno. Las comunidades de San Quintín (SQ) y Vicente Guerrero (VG) se ubican a 195 km y 170 km hacia el sur de ENS. La precipitación total anual en la

© 2011 pp 349-354 ISBN ISBN 978-607-607-015-4

región oscila entre los 100 y 200 mm, con una temperatura media anual de 16.61 °C y lluvias principalmente en diciembre y enero. La principal actividad en estas comunidades es la producción agrícola, lo que provoca una población migratoria (principalmente de estados del sur de México) que fluctúa dependiendo de la época del año y la cantidad de trabajo en los campos agrícolas [2].

2. Metodología

2.1 Caracterización de residuos

Los estudios se realizaron en el 2009 en MXL (en tres periodos estacionales), ENS (en dos periodos estacionales), SQ y VG (ambas en dos periodos estacionales). Debido a la disponibilidad de información e infraestructura, la duración y el tamaño de muestras fueron distintas en las cuatro comunidades. En MXL, el análisis de residuos se realizó en los camiones que recorren una ruta en un día de recolección durante tres días. Las muestras fueron de aproximadamente 450 kg/día. En ENS, SQ y VG, el análisis se realizó durante cinco días consecutivos en cada comunidad. Las muestras en cada sitio se tomaron de los residuos depositados por los camiones recolectores municipales en los SDF y fueron de aproximadamente 260 kg/día en ENS, y de 100 kg/día en SQ y VG. El tamaño de las muestras en las cuatro comunidades fueron cantidades mayores a la propuesta en la norma mexicana NMX-AA-015-1985, pero acorde con otras investigaciones [3], [4]. Los residuos de las muestras se clasificaron, pesaron y registraron. Para el registro de los subproductos se utilizó la ficha de registro indicada en la norma mexicana NMX-AA-022-1985. Los subproductos se agruparon en 14 categorías de acuerdo con lo propuesto por SCS Engineers [1].

2.2 Determinación de parámetros *in situ (k)* y L_0

- Índice de generación de metano (*k*)

Para cada una de las cinco regiones climáticas de México, el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 tiene asignado valores de *k* para las cuatro categorías de degradación de residuos: muy rápida (DR), moderadamente rápida (DMR), moderadamente lenta (DML), y muy lenta (DL). Estos valores varían en base a la precipitación promedio anual en el clima de la región donde está ubicado el relleno sanitario (RESA), tipo de residuo y clima [1]. Los valores correspondientes a la región climática donde se realizó el estudio (Región 5: Noroeste & Interior Norte) son: DR k=0.10, DMR k=0.05, DML k=0.20, DL k=0.10. Estos valores se multiplicaron con la composición de los residuos sólidos domésticos (RSD) para obtener un valor de *k* por año ponderado del sitio.

- Potencial de generación de metano (L_0)

Se siguieron los lineamientos marcados en las Directrices del IPCC de 2006 [5] para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en los cuales se menciona que si se cuenta con información del sitio se puede estimar L_0 empleando la ecuación 1[5], [6].

$$L_0 = MCF \bullet DOC \bullet DOC_F \bullet F \bullet \frac{16}{12} \quad (1)$$

donde L_0 es el potencial de generación, MCF es el factor de corrección para el metano, DOC es el carbono orgánico degradable (fracción), DOC_F es la fracción de carbono orgánico degradable asimilado, F es la fracción de CH_4 en el biogás y $\frac{16}{12}$ es la constante estequiométrica.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de residuos

En la Tabla 1 se muestra la composición de los RSD de MXL, ENS, SQ y VG. Se pude apreciar que el porcentaje de componentes orgánicos promedio total de las comunidades estudiadas es de

© 2011

aproximadamente 64% y los componentes inorgánicos es de 36%. ENS presenta el de mayor porcentaje de residuos orgánicos con 68.57%, posteriormente MXL con 66.43% y por último las dos comunidades rurales SQ y VG con 62.42% y 58.15% respectivamente.

Tabla 1. *Composición de los RSD en porcentaje (%) de los sitios de estudio de Baja California, México*

Subproductos de los RSD	MXL	ENS	SQ	VG
Comida	7.64	36.20	30.15	26.54
Papel y Cartón	21.37	11.36	10.33	8.59
Poda (jardines)	20.48	3.20	4.12	8.48
Madera	1.70	0.35	0.46	0.28
Caucho, Piel, Huesos y Paja	0.14	0.22	0.40	0.46
Textiles	9.70	6.24	8.98	5.78
Papel Higiénico	4.30	10.72	7.79	8.03
Otros Orgánicos	1.10	0.28	0.17	0.00
Pañales	3.18	5.83	8.93	14.07
Metales	2.95	2.56	2.98	2.33
Construcción y Demolición	1.79	0.72	1.47	0.24
Vidrio y Cerámica	6.04	4.73	3.41	4.88
Plásticos	15.50	12.34	15.31	14.60
Otros Inorgánicos	4.11	5.26	5.48	5.73

3.2 Índice de generación de metano (*k*)

Se obtuvo un *k* promedio para Baja California de 0.0404 por año (MXL *k*=0.0307, ENS *k*=0.0482, SQ *k*=0.0420, VG *k*=0.0408), la obtención de estos valor se puede observar en la Tabla 2. Cabe señalar que los subproductos con categorías de degradación inerte (metales, construcción y demolición, vidrio y cerámica, plásticos y otros inorgánicos) no fueron manejados en la determinación de *k*.

Tabla 2. *Determinación de k en los sitios de estudio de Baja California, México*

Subproductos de los RSD	Categoría de degradación	Valor k^a Región 5	Valor de k^b modificado			
			MXL	ENS	SQ	VG
Comida	DR	0.10	0.0076	0.0362	0.0302	0.0265
Papel y Cartón	DML	0.02	0.0043	0.0023	0.0021	0.0017
Poda (jardines)	DMR	0.05	0.0102	0.0016	0.0021	0.0042
Madera	DL	0.01	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Caucho, Piel, Huesos y Paja	DL	0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Textiles	DML	0.02	0.0019	0.0012	0.0018	0.0012
Papel Higiénico	DMR	0.05	0.0022	0.0054	0.0039	0.0040
Otros Orgánicos	DR	0.10	0.0011	0.0003	0.0002	-
Pañales [c]	DR	0.10	0.0032	0.0012	0.0018	0.0028
***k* ponderada**			**0.0307**	**0.0482**	**0.0420**	**0.0406**

[a] Valores que son determinados por el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0
[b] Valores calculados de acuerdo con los porcentajes obtenidos en la Tabla 1
[c] En los pañales se asume 20% orgánico y 80% inorgánico

Los valores de *k* obtenidos se encuentran dentro de los rangos mencionados en otras investigaciones y concuerdan con las características de los sitios, principalmente MXL (*k*=0.0307) y ENS (*k*=0.0482), para los cuales, de acuerdo con el World Bank Group [7] y ETEISA [8], el valor va de 0.02 para sitios secos a 0.047 para sitios húmedos.

© 2011

3.3 Potencial de generación de metano (L_0)

El valor promedio de L_0 para Baja California es de 73.645 m^3/Mg de residuo (ver Tabla 3). Se sabe que a mayor contenido de celulosa le corresponde un mayor valor de L_0. Sin embargo, en el caso de MXL cuyos RSD presentan el mayor contenido de celulosa, no se puede considerar el mayor valor de L_0 debido al manejo que tienen los residuos.

Tabla 3. *Determinación de L_0 en los sitios de estudio de Baja California, México*

Sitio de estudio	MCF [a]	DOC [b]	DOC_F [c]	F [d]	Constante	***L_0 (m^3/Mg)***
MXL	0.8	0.1930	0.77	0.5	16/12	**79.529**
ENS	1	0.1741	0.77	0.5	16/12	**89.371**
SQ	0.8	0.1620	0.77	0.5	16/12	**66.528**
VG	0.8	0.1447	0.77	0.5	16/12	**59.423**

[a] MXL, SQ y VG se consideran sitios sin manejo y ENS con manejo, todos con una profundidad ≥ 5m
[b] Valores calculados de acuerdo con los porcentajes obtenidos en la Tabla 1
[c] Valor predeterminado utilizado por la IPCC [6]
[d] Valor asumido en 0.5 [5], [6]

Otros estudios en México han utilizado diferentes metodologías para obtener estos parámetros, a pesar de ser realizados por la misma empresa consultora ambiental. Tales son los casos de Ensenada, Chihuahua y Querétaro. En Ensenada en el 2006 se realizó un estudio en el antiguo vertedero controlado, utilizándose un estudio de caracterización de residuos de ocho años atrás para ajustar el resultado de los parámetros *k* y L_0, 0.05 por año y 60 m^3/Mg respectivamente [9]. En Chihuahua y Querétaro, el ajuste de los valores se realizó de acuerdo a la composición de residuos de Estados Unidos de América (EUA) y se obtuvieron tres niveles de *k* de acuerdo con el grado de degradación (DR, degradación rápida; DM, degradación mediana; y DL, degradación lenta). En Chihuahua los valores de *k* fueron: 0.100, 0.020,y 0.005 por año y L_0 de 63.2 m^3/Mg [10]. En Querétaro los valores de *k* fueron: 0.140, 0.028 y 0.007 por año y L_0 de 73.1 m^3/Mg [11].

En un estudio en Monterrey, Nuevo León, México, se siguió una metodología diferente para estimar los parámetros *k* y L_0. En el caso de *k* (0.066 por año) se utilizó el Método 2E de la USEPA y para L_0 (95.4 m^3/Mg) se utilizó la precipitación anual de la ciudad y la relación existente entre los datos del flujo de operación de proyectos de EUA y su precipitación anual [12].

En América Latina (AL), se encontraron diversos estudios donde se basan principalmente en la composición de EUA para hacer los ajustes a los parámetros del modelo. Tales son los casos de Lima, Perú [13], Guatemala, Guatemala [14], Manizales, Colombia [15], Montevideo, Uruguay [16], en donde los valores para L_0 oscilaron entre 68 y 91 m^3/Mg y para *k* en DR estuvieron entre 0.1 y 0.4, DM de 0.02 a 0.08, y DL de 0.005 a 0.02 por año. No obstante, estos valores pudieran diferir con los valores *in situ* debido a que el manejo y la composición de los residuos generados en EUA es diferente a los de AL, aunado a las características propias del lugar (clima, hidrología y otros).

4. Conclusiones

A pesar de que existen modelos que proporcionan valores establecidos de *k* y L_0, utilizar valores *in situ* reduce la posibilidad de sobreestimar o subestimar el potencial de generación de biogás. Para ello, se debe de conocer la composición de residuos. En la presente investigación se reporta un alto grado de componentes orgánicos (64% en promedio) dispuestos en cuatro SDF de Baja California.

La composición de residuos orgánicos en ENS y MXL son muy similares (68.57% y 66.43% respectivamente). No obstante, la distribución de porcentajes de residuos en las diferentes categorías (principalmente en residuos de comida y poda) marco diferencias en los valores de *k*. Ahora bien, el SDF cuyos RSD contienen una mayor cantidad de celulosa es el de MXL, pero el

© 2011

hecho de no cumplir con los requisitos necesarios para ser considerado un RESA, afecta la producción de metano, disminuyendo el valor de L_0.

Es importante recalcar que estas cuatro comunidades pertenecen a una misma región de México, por lo que de acuerdo con los modelos preestablecidos tienen un mismo valor de k y L_0, sin embargo de acuerdo a las características propias del lugar se demostró que no es posible generalizar dichos valores. Los países de América Latina deben de comenzar a desarrollar sus propios parámetros de ajuste, con métodos y criterios estandarizados para que la información generada pueda ser comparada entre países que comparten similitudes en composición y manejo de residuos, clima, culturas, entre otros. La utilización de información proveniente de países que presentan notables diferencias respecto a los países latinoamericanos, como EUA, puede conducir a errores.

Referencias Bibliográficas

[1] SCS Engineers. 2009 (7/Dic/09). "Manual de Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0"*http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf*

[2] IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada). 2007. "Programa de Desarrollo Regional, Región 'San Quintín' " Ensenada, B.C. México.

[3] Zeng Y., Trauth K.M., Peyton R.L., Banerji S.K., "Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri". *Waste Management Research.* Vol. 23(1). 2005. pp. 62-71.

[4] Chung S.-S., Poon C.-S., "Characterisation of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou". *Waste Management Research.* Vol. 19(6). 2001. pp. 473-485.

[5] IPCC, "Waste," in *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)., vol. 5, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

[6] IPCC, "CH4 Emissions from Solid Waste Disposal," in *Background Papers - IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2002, pp. 419-439.

[7] World Bank Group. 2004 (2/Abr/10). "Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_008.htm*

[8] ETEISA. 2006 (2/Abr/10) "Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento del biogas generado en el relleno sanitario 'Don Juanito', Municipio de Villavicencio, Colombia" *http://www.bioagricoladelllano.com.co/website/documentos/?C=M;O=A*

[9] SCS Engineers. 2007. "Informe de la prueba de extracción y estudio de pre-factibilidad para recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de Ensenada, México"

[10] SCS Engineers. 2005 (15/Jun/08). "Estudio de pre-factibilidad para la recuperación y utilización en el relleno sanitario de Chihuahua, Chihuahua, México" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf*

[11] SCS Engineers. 2005 (15/Jun/08). "Estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Querétaro, Querétaro, México" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Chihuahua_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf*

[12] LFG Consult. 2007 (16/Jun/2008), "Case studies of CDM - Landfill Gas Projects Monterrey, Mexico (Benlesa)" *http://siteresources.worldbank.org/INTLACREGTOPURBDEV/Resources/840343-81178120035287/ModelMonterrey.pdf*

[13] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). "Report of the pump test and pre-feasibility study for

© 2011

landfill gas recovery and energy production at the Huaycoloro landfill Lima, Peru" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/English/Huaycoloro_PreFeasibility_Study_English.pdf*
[14] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). "Informe de la prueba de extracción y estudio de pre-viabilidad para la recuperación de biogás en el relleno sanitario de El Trébol, Ciudad de Guatemala, Guatemala" *www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/el_trebol_report_sp.pdf*
[15] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/08). "Estudio de pre-factibilidad de recuperación y utilización de biogás en el relleno sanitario de La Esmeralda Manizales, Colombia" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/La_Esmeralda_PreFeasibility_Spanish.pdf*
[16] SCS Engineers. 2005 (14/Jun/2008) "Reporte de prueba de bombeo y estudio de pre-factibilidad para la recuperación de biogás y producción de energía en el relleno sanitario de Montevideo, Montevideo, Uruguay" *http://www.bancomundial.org.ar/lfg/archivos/PrefeasibilityStudies/Spanish_Portuguese/Montevideo_PreFeasibility_Study_Spanish.pdf*

© 2011